

УДК 621.396.96

А. Е. ОХРИМЕНКО

# СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ В СКРЫТЫХ ПОЛУАКТИВНЫХ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПОСТОРОННИМ ПОДСВЕТОМ

*Научно-производственное частное унитарное предприятие «НТЛаб – системы»**(Поступила в редакцию 28.09.2013)*

Опыт эксплуатации и применения активных радиолокационных систем (АРЛС) с совмещенными по пространству передающим и приемным устройствами показал их главные недостатки системного характера: отсутствие скрытности, плохая помехоустойчивость в отношении преднамеренных и непреднамеренных помех (мешающих излучений и отражений) и как следствие низкая живучесть. Скрытность достигается применением активно-пассивных многопозиционных радиолокационных систем [1–3], которые всегда могут быть представлены сочетанием нескольких бистатических полуактивных РЛС (ПА РЛС) с посторонним подсветом или бистатических пассивных РЛС (ПРЛС), использующих собственное радиоизлучение целей [4]. Скрытность полностью или частично снимает проблему помехоустойчивости ПА РЛС: преднамеренные помехи отсутствуют из-за невозможности ведения радиоразведки, непреднамеренные мешающие излучения от посторонних источников во многом преодолеваются благодаря их электродинамическому экранированию земной поверхностью и пространственной когерентной автокомпенсации. Мешающие отражения должны существенно снижаться из-за значительного рассовмещения приемной позиции и источников подсвета [5]. ПРЛС, использующие разностно-дальномерный метод определения местоположения целей, в режиме их радиомолчания становятся неработоспособными, т.е. полностью утрачивают эффективность и поэтому являются бесперспективными.

**Постановка и методика решения задачи.** В бистатической ПА РЛС приемная позиция в интересах электродинамического экранирования сигнала подсвета, принимаемого по боковым лепесткам диаграммы направленности приемной антенны в качестве мешающего излучения, должна располагаться от него на расстоянии, большем дальности радиогоризонта относительно источника подсвета:  $r_{\text{рг подсв}} = \sqrt{2R_{\text{З}}H_{\text{подсв}}}$ , где  $R_{\text{З}} = 8500$  км – эквивалентный радиус Земли с учетом рефракции радиоволн,  $H_{\text{подсв}}$  – высота антенны источника подсвета. Это необходимо для того, чтобы фазовый центр приемной антенны располагался ниже радиогоризонта, т.е. находился по отношению к источнику излучения (подсвета) в области тени, а фазовые центры антенн опорных (компенсационных) каналов, необходимых для формирования опорных сигналов многоканальных матричных корреляторов и многоканальных пространственных когерентных автокомпенсаторов, располагались выше радиогоризонта, т.е. находились по отношению к источнику излучения (подсвета) в области света (рис. 1). При этом прямой сигнал, принимаемый по боковым лепесткам диаграммы направленности (ДН) приемной антенны, проходит от источника подсвета первую часть пути в свободном пространстве  $r_{\text{св}} = r_{\text{рг подсв}}$ , а вторую часть – в области тени  $r_{\text{тени}} : r_{\text{пр.сигн}} = r_{\text{св}} + r_{\text{тени}}$ . В свободном пространстве плотность потока мощности убывает обратно пропорционально квадрату расстояния  $\Pi_{\text{св}} \sim \frac{1}{r_{\text{св}}^2}$ , а в области тени она убывает обрат-

но пропорционально четвертой степени расстояния [6]:  $\Pi_{\text{тени}} \sim \frac{1}{\chi_2 r_{\text{тени}}^4}$ . Объединяя обе закономерности, представляем плотность потока мощности мешающего прямого сигнала у раскрыва приемной антенны в следующем виде:

$$\Pi_{\text{меш.изл}} = \frac{P_{\text{подсв}} G_{\text{подсв}}}{4\pi \left( r_{\text{рг подсв}}^2 + 2r_{\text{рг подсв}} \chi_1 r_{\text{тени}}^2 + \chi_2 r_{\text{тени}}^4 \right)},$$

где  $P_{\text{подсв}}, G_{\text{подсв}}$  – мощность и коэффициент усиления антенны источника подсвета,  $\chi_1 = \frac{1}{M}$ ,  $\chi_2 = \frac{1}{M^2}$  – нормирующие сомножители для упорядочения размерности слагаемых.

Эффективность электродинамического экранирования можно оценить, сопоставляя плотность потока мощности мешающего излучения в области света на дальности радиогоризонта

$$\Pi_{\text{меш.изл.света}} = \frac{P_{\text{подсв}} G_{\text{подсв}}}{4\pi r_{\text{рг подсв}}^2} \text{ и в области тени } \Pi_{\text{меш.изл.тени}} \approx \frac{P_{\text{подсв}} G_{\text{подсв}}}{4\pi \chi_2 r_{\text{тени}}^4}, \text{ если } \chi_2 r_{\text{тени}}^4 \gg 2\chi_1 r_{\text{тени}}^2 r_{\text{рг подсв}} \gg r_{\text{рг подсв}}^2:$$

$$v_{\text{экран}} = \frac{\Pi_{\text{меш.изл.света}}}{\Pi_{\text{меш.изл.тени}}} = \frac{\chi_2 r_{\text{тени}}^4}{r_{\text{рг подсв}}^2},$$

откуда область тени для достижения требуемой эффективности электродинамического экранирования  $v_{\text{экран}}$

$$r_{\text{тени}} = \sqrt[4]{\frac{r_{\text{рг подсв}}^2 v_{\text{экран}}}{\chi_2}} = \sqrt[4]{\frac{2R_{3\text{э}} H_{\text{подсв}} v_{\text{экран}}}{\chi_2}}.$$

При требуемой эффективности  $v_{\text{экран}} = 40$  дБ и высоте источника подсвета  $h_{\text{подсв}} = 100$  м дальность до радиогоризонта от источника подсвета  $r_{\text{рг подсв}} = \sqrt{2R_{3\text{э}} H_{\text{подсв}}} = 41$  км, протяженность области тени  $r_{\text{тени подсв}} = 2$  км, а глубина погружения фазового центра антенны в область тени  $\Delta h_a = \frac{r_{\text{тени}}^2}{2R_{3\text{э}}} = 24$  см. Такая резкая граница между областью света и тени была экспериментально подтверждена при испытаниях скрытной полуактивной РЛС с телевизионным подсветом белорусским научно-производственным государственным предприятием НПП «Алевкурп» 10.09.1999 [7].

**Решение задачи и выводы.** Согласно рис. 2, мощность мешающих отражений есть результат суммирования мощностей от участков равноудаленных отражателей в области света относительно приемной антенны. При этом радиальная плотность мощности мешающих отражений, принимаемых по главному и боковым лепесткам ДН приемной антенны:

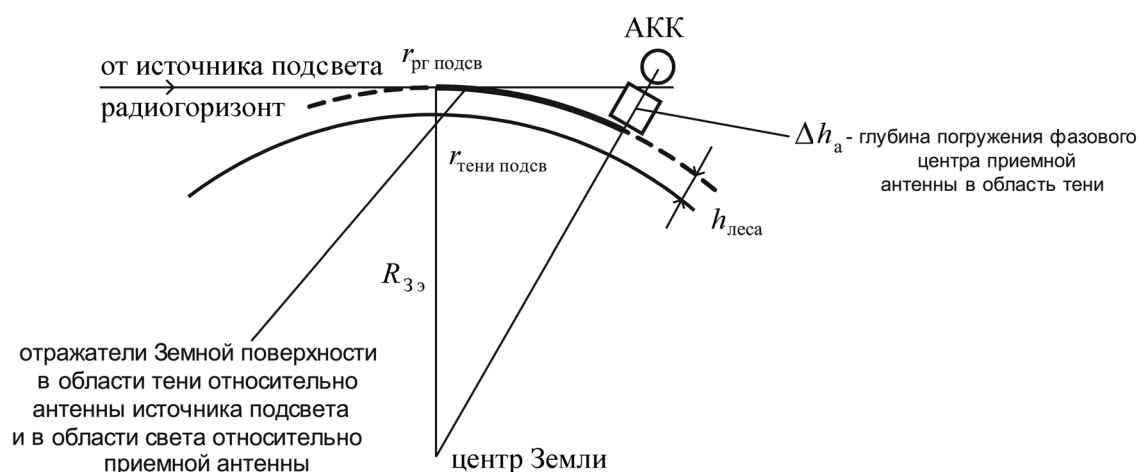


Рис. 1. Пояснение размещения антенн компенсационных каналов (АКК) в области света и приемной антенны в области тени относительно источника подсвета

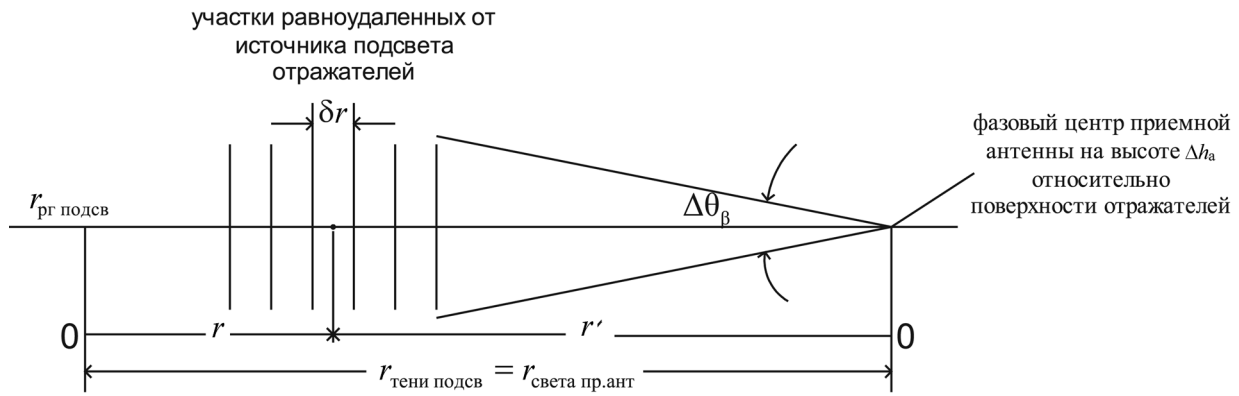


Рис. 2. Пояснение сбора мощности от участков равноудаленных отражателей в области света относительно приемной антенны

$$\rho(r') = \frac{P_{\text{подств}} G_{\text{подств}}}{4\pi\chi_2 r_{\text{тени подств}}^4} \alpha_s S_a \frac{[\Delta\theta_\beta + (2\pi - \Delta\theta_\beta)\eta_{\text{бок}}] r' \delta r}{4\pi[(r')^2 - (\Delta h_a)^2] \delta r},$$

где  $\alpha_s$  – удельная поверхность рассеяния области отражателей,  $S_a$  – эффективная площадь раскрытия приемной антенны,  $\Delta\theta_\beta$  – ширина главного лепестка ДН приемной антенны в азимутальной плоскости,  $\eta_{\text{бок}}$  – уровень боковых лепестков ДН приемной антенны, а мощность мешающих отражений

$$\sigma_{\text{меш.отр.}}^2 = \int_{r'_{\min}}^{r'_{\max}} A \rho(r') dr', \quad r'_{\min} = 0, \quad r'_{\max} = r_{\text{р.а}} = \sqrt{2R_{3\gamma} \Delta h_a},$$

$$\text{где } A = \frac{P_{\text{подств}} G_{\text{подств}}}{4\pi\chi_2 r_{\text{тени подств}}^4} \alpha_s S_a \frac{[\Delta\theta_\beta + (2\pi - \Delta\theta_\beta)\eta_{\text{бок}}]}{4\pi}.$$

Используя формулы (2.124.2) и (2.124.1) [8], находим  $\sigma_{\text{меш.отр.}}^2 = A \ln \sqrt{\frac{2R_{3\gamma}}{\Delta h_a}}$ . При этом спектральная плотность мешающих отражений

$$N_{\text{меш.отр}} = \frac{\sigma_{\text{меш.отр.}}^2}{\Delta f_0},$$

где  $\Delta f_0$  – ширина спектра закона модуляции сигнала подсвета, определяющая ширину спектра мешающих отражений. Таким образом, для скрытной полуактивной РЛС с цифровым телевизионным сигналом подсвета [9] ( $P_{\text{подств}} = 1$  кВт,  $\Delta\theta_\beta = 15^\circ$ ,  $G_{\text{подств}} = 8$ ,  $\alpha_s = 10^{-4}$ ,  $S_a = 2$  м<sup>2</sup>,  $r_{\text{тени подств}} = 2$  км) спектральная плотность мешающих отражений составляет  $N_{\text{меш.отр}} \approx 4 \cdot 10^{-22}$  Вт/Гц, т. е. оказывается на порядок меньше спектральной плотности собственных шумов приемника  $N_0 = 6,2 \cdot 10^{-21}$  Вт/Гц (при коэффициенте шума  $k_{\text{ш}} = 2$ , исключающем необходимость использования криогенной техники).

Такой результат является следствием большого рассовмещения источника подсвета и приемной антенны. В АРЛС мешающие отражения собираются от близкорасположенных от приемной антенны участков местности, подсвечиваемых расположенным рядом передающим устройством. Поэтому спектральная плотность мешающих отражений на несколько порядков оказывается больше спектральной плотности собственных шумов и решение задач радиолокационного наблюдения (обнаружения, распознавания, измерения) с требуемыми высокими показателями невозможно.

## Литература

1. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Мн., 1978.
2. Ширман Я.Д. и др. Справочник «Радиоэлектронные системы» (основы построения и теории). М., 2007.
3. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М., 1993.

4. *Охрименко А.Е.* Основы обработки и передачи информации. Мн., 1990.
5. *Охрименко А.Е.* Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. М., 1983.
6. *Бартон Д.* Радиолокационные системы, М., 1967.
7. *Охрименко А.Е.* Первенец белорусской радиолокации – скрытный радар «Поле». Мн., 2005.
8. *Градиштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., 1963
9. *Семашко П.Г., Охрименко А.Е.* // Докл. НАН Беларуси. 2005. Т. 49, № 6. С. 37–41.

*A. E. OKHRIMENKO*

**A SPECTRAL DENSITY OF JITTER BACKGROUND RETURNS  
IN CONVERT SEMI-ACTIVE MULTIPLE POSITION RADARS WITH EXTERNAL ILLUMINATION**

**Summary**

A spectral density of jitter background returns in convert semi-active multiple position radars based on signals of digital television broadcasting is described.